

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Matej Stipič

**Razvoj modula za upravljanje
delovnih obremenitev v sistemu
AtlasWMS**

DIPLOMSKO DELO
VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: doc. dr. Miha Moškon

Ljubljana, 2016

Fakulteta za računalništvo in informatiko podpira javno dostopnost znanstvenih, strokovnih in razvojnih rezultatov. Zato priporoča objavo dela pod katero od licenc, ki omogočajo prosto razširjanje diplomskega dela in/ali možnost nadaljne proste uporabe dela. Ena izmed možnosti je izdaja diplomskega dela pod katero od Creative Commons licenc <http://creativecommons.si>

Morebitno pripadajočo programsko kodo praviloma objavite pod, denimo, licenco *GNU General Public License*, različica 3. Podrobnosti licence so dostopne na spletni strani <http://www.gnu.org/licenses/>.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil L^AT_EX.

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

Kandidat naj v diplomski nalogi razvije rešitev za upravljanje delovnih obremenitev v obstoječem sistemu za upravljanje skladišč AtlasWMS. Rešitev bo del obstoječega sistema in naj s primernim grafičnim vmesnikom nudi možnost pregleda, napovedi in nastavljanje parametrov delovnih nalogov, tako da bodo naročila v skladišču končana v predvidenem času z optimalno obremenitvijo delovnih postaj skozi delovne izmene. Na podlagi rezultatov naj kandidat izpopolni natančnost projekcije delovnih obremenitev v prihodnosti.

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Matej Stipič sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Razvoj modula za upravljanje delovnih obremenitev v sistemu AtlasWMS
(angl. *Development of workload management software in AtlasWMS*)

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom doc. dr. Mihe Moškona.
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela,
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela na svetovnem spletu preko univerzitetnega spletnega arhiva.

V Ljubljani, dne 31. januarja 2016

Podpis avtorja:

ZAHVALA

Za vse nasvete in strokovno pomoč pri izdelavi diplomske se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mihi Moškonu.

Posebno zahvalo namenjam tudi svojemu sodelavcu dr. Domnu Marinčiču, ki mi je posredoval veliko praktičnega znanja iz področja strojnega učenja in me seznanil s programsko opremo WEKA. Omenil bi še ostale svoje sodelavce, ki so mi nudili tehnično pomoč pri razvoju modula in navsezadnje direktorja podjetja Damjana Širco, ki mi je omogočil izdelavo diplomskega dela v sožitju s potrebami podjetja.

Zahvaljujem se tudi družini in puncu Petri, ki so mi v času študija stali ob strani in me podpirali.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Opis sistema AtlasWMS	5
2.1	Splošno o AtlasWMS	5
2.2	Glavne entitete	7
3	Razvojna orodja, metode in tehnologije	9
3.1	Razvojna orodja	9
3.2	Potek razvoja	10
4	Razvoj modula za upravljanje delovnih obremenitev	15
4.1	Dodana vrednost	15
4.2	Upravljanje z delovnimi izmenami	16
4.3	Upravljanje modula	19
5	Predikcija časovne ocene	27
5.1	Zbiranje podatkov (OOI)	28
5.2	Priprava podatkov	30
5.3	Izgradnja odločitvenega drevesa v orodju WEKA	31
5.4	Izboljšava natančnosti predikcije	33

6 Rezultati in zaključek	37
Literatura	39

Seznam uporabljenih kratic

Kratica	Angleško	Slovensko
AOP	Automatic Order Procesor	Avtomatski obdelovalec naročil
DEXC	Data exchanger	Izmenjevalec podatkov
FIFO	First in first out	Prvi notri prvi ven
GO	GeneralOrder	Glava naročila
GOI	GeneralOrderItem	Postavka naročila
MFS	Material Flow System	Sistem za upravljanje mat. toka
OOI	OperationalOrderItem	Delna postavka naročila
PL	Procedural Language	Proceduralni jezik
RF terminal	Radio Frequency terminal	Radiofrekvenčni terminal
SQL	Structured Query Language	Strukturirani povpraševalni jezik
V1	Module version 1	Modul verzije 1
V2	Module version 2	Modul verzije 2
V3	Module version 3	Modul verzije 3
WMS	Warehouse management system	Sistem za upravljanje skladišč

Povzetek

Naslov: Razvoj modula za upravljanje delovnih obremenitev v sistemu AtlasWMS

Diplomska naloga opisuje postopek razvoja modula za upravljanje delovnih obremenitev, ki je integriran v sistem za vodenje skladišč AtlasMWS. Za potrebe integracije se je moral modul v celoti vključiti v obstoječ podatkovni model. Prva razvojna verzija V1 vsebuje grafični vmesnik za kreiranje delovnih izmen in enostavno upravljanje delovnih obremenitev ter je glavni predmet te diplomske naloge. V diplomski nalogi bomo podali več informacij o sistemu AtlasWMS, razvojnih orodjih, razvoju modula, njegovemu upravljanju in sami predikciji časa izvedbe delovnih nalogov z uporabo razvitega modula. Pobljže si bomo pogledali tudi, kateri parametri vplivajo na predikcijo časovne ocene in kako lahko modul v prihodnosti še dodatno izboljšamo.

Ključne besede: upravljanje skladišč, izmene, javafx.

Abstract

Title: Development of workload management software in AtlasWMS

Herein we describe development steps of a workload management software module for AtlasWMS - warehouse management system, which is completely integrated in its core. This work is focused on the development of module version V1, which includes graphical user interface for creating work shifts and simple workload management. In the next chapters, we will give some details on AtlasWMS system, development tools, management of developed module and its usage for predicting the time time. We will also take a close look on parameters, which affect the commissioning time and possibilities for future module improvements.

Keywords: warehouse management, workshifts, javafx.

Poglavje 1

Uvod

Sistem AtlasWMS je glavni produkt podjetja Epilog, ki je specializirano za informacijske sisteme upravljanja z skladišči (WMS). Skozi čas smo v Epilogu odkrili problem, ki se pojavlja v večini ročnih skladišč. To je pomanjkanje pregleda obremenjenosti skladišča s stališča človeških virov in nezmožnost natančnega planiranja/določanja delovnih nalogov s pomočjo delovnih izmen in statističnih podatkov iz preteklosti. To lahko povzroči, da določeni delovni nalogi z višjo prioriteto niso izvršeni pravočasno in človeški viri niso razporejeni enakomerno ter so preobremenjeni. Ta problem lahko reši sistem AtlasWMS, ki ima vse potrebne podatke, ki so ključni za upravljanje delovnih obremenitev, saj shrani vse ključne transakcije nad zalogo v skladišču. Obstoječemu sistemu pa na žalost manjka vmesnik za strukturiran pregled in razporejanje dela, ki ga opravljajo skladiščniki.

Predlog rešitve tega problema je izdelava modula za okolje AtlasWMS, ki bi omogočil pregled in upravljanje obremenjenosti skladišča, prikaz nalogov ki niso izvedljivi znotraj predvidenega časa (zaradi preobremenjenih virov) ali manjkajočega materiala - zalog). Modul za upravljanje delovnih obremenitev bo torej v prihodnosti celovita rešitev, ki bo s pomočjo statističnih podatkov ponujala možnost planiranja delovnih nalogov skozi delovne izmene. AtlasWMS pred začetkom razvoja modula ni podpiral napovedovanja zaključkov delovnih nalogov in optimizacijo delovnega časa skladišča, čeprav je večina

potrebnih podatkov za tovrstno obdelavo že nekaj časa na voljo. Modul je torej novost, s katerim želimo strankam ponuditi orodje s katerim bodo sami optimizirali svoje delovne procese in bolj natančno upravljali s človeškimi viri v skladišču.

Glavne načrtovane lastnosti modula so sledeče:

- omogočati mora razporejanje delovnih nalogov na druge termine, tako da bo skladišče enakomerno obremenjeno,
- časovno oceno mora računati na osnovi fiksnih parametrov in kasneje tudi na podlagi statističnih podatkov,
- obremenitve človeških virov mora prikazati v uporabniku prijaznem grafičnem vmesniku,
- izračunati mora predvideno oceno časa za izvedbo posameznega opravila,
- modul mora biti v celoti integriran v AtlasWMS.

Problemi, s katerimi smo se soočali pri razvoju modula, so bili sledeči:

- Kako razviti prvo verzijo modula brez produkcijskih podatkov?
- Kateri parametri so potrebni za statistično oceno izvedbo posameznega naloga?
- Kako natančno izračunati časovne ocene?
- Kako modul tehnično implementirati v obstoječe okolje AtlasWMS?
- Kako beležiti in zapisati statistične podatke da bodo ustrezni za uporabo?

Načrtovanje in razvoj modula smo razbili na tri faze, pri čemer je tretja faza zgolj konceptualna:

- Verzija 1 (V1). Tu je potekal večji del implementacije modula v AtlasWMS. Časovne ocene se računajo na podlagi fiksnih vrednosti parametrov, brez večjih statističnih obdelav podatkov. Poudarek je na praktični uporabnosti grafičnega vmesnika, saj bo V1 v začetku leta 2016 implementiran na novem projektu pri stranki v Veliki Britanji (SBSU), kjer imajo ročno skladišče in se soočajo s težavami upravljanja obremenitev. Ker to skladišče do sedaj ni imelo našega sistema AtlasWMS, nimamo dovolj produkcijskih podatkov, na podlagi katerih bi lahko zgradili zanesljiv modul V2.
- Verzija 2 (V2). Ta faza nastopi po izgradnji prve verzije modula V1 v testnem sistemu naše nove stranke - SBSU. Poudarek bo na izračunu časovne ocene s pomočjo statističnih podatkov namesto normiranih vrednosti. Pred tem bomo pripravili testni model odločitvenega drevesa na podlagi podatkov druge stranke, ki uporablja sistem AtlasWMS v svojem ročnem skladišču že več 2 leti.
- Verzija 3 (V3). Te faze v Epilogu še nismo dokončno potrdili. Gre za idejo, da bi modul V2 dopolnili s funkcionalnostjo obstoječega modula AOP (angl. *Automated order processor*). Tu bi za upravljanje delovnih obremenitev skrbel avtomatiziran proces, ki na podlagi določenega algoritma upravlja standardne akcije namesto fizične osebe.

Kar se tiče tehnične implementacije modula V1, je v načrtu implementacija ročnega in avtomatskega kreiranja upravljanja delovnih izmen, izgradnja nove panele s tabelo postavk odpremnih nalogov in dinamičnega grafa, ki bo prikazoval obremenitve posameznih delovnih izmen.

V naslednjih poglavjih bom podrobneje opisal sistem AtlasWMS, razvojna orodja, tehnologije in metode. Temu sledi podrobnejši opis razvitega modula, in sicer kreiranja delovnih izmen in delovanje modula za upravljanje delovnih obremenitev. V drugi polovici diplomske naloge je fokus na pripravi osnov za razvoj modula V2. V teh poglavjih je opisan zajem in priprava podatkov iz drugega produkcijskega sistema ter izgradnja teoretičnega

odločitenega drevesa v orodju WEKA na podlagi zajetih produkcijskih podatkov.

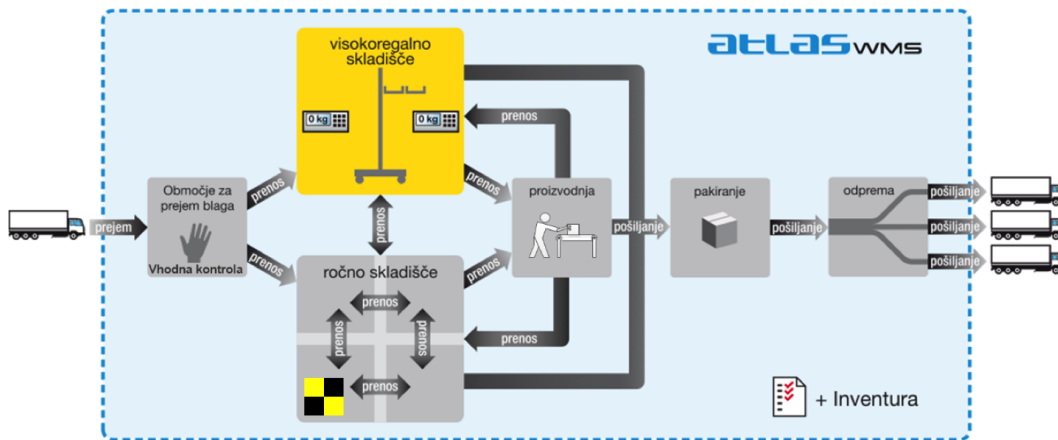
Poglavje 2

Opis sistema AtlasWMS

2.1 Splošno o AtlasWMS

AtlasWMS (angl. *Atlas Warehouse Management System*) je sistem za upravljanje skladišč, ki skrbi za informacijsko podporo skladiščenja. Podpira tako avtomatska kot ročna skladišča. V avtomatskih skladiščih koordinira avtomatske transportne naprave, da pripeljejo blago na ciljno mesto, v ročnih skladiščih pa s pomočjo mobilnega RF terminala vodi uporabnike v skladščih. RF terminal je mobilna naprava z ekranom na dotik in laserskim skenerjem za skeniranje črtnih kod v skladišču. S pomočjo te naprave lahko uporabniki nabirajo blago po skladišču, prevzemajo novo zalogo, predstavljajo pakete, urejajo podatke o zalogi in opravljajo inventuro. S pomočjo RF terminalov so procesi materialnega toka pokriti v celoti, od prejema do izdaje blaga iz skladišča. Sistem AtlasWMS v enem paketu združuje tako sistem za upravljanje skladišča WMS) kot sistem za upravljanje materialnega toka (angl. *Material Flow System*). Obseg podprtih procesov je viden na sliki 2.1. V tej diplomski nalogi se bomo omejili na ročna skladišča in proces komisioniranja z RF terminali, saj smo se na tega osredotočili tudi pri razvoju modula. [2].

Grafični vmesnik sistema AtlasWMS je posebej prilagojen zaslonu osebnega računalnika, mobilnim terminalom in višje nameščenim velikim zaslonom na komisionirnih postajah in je viden na sliki 2.2 .

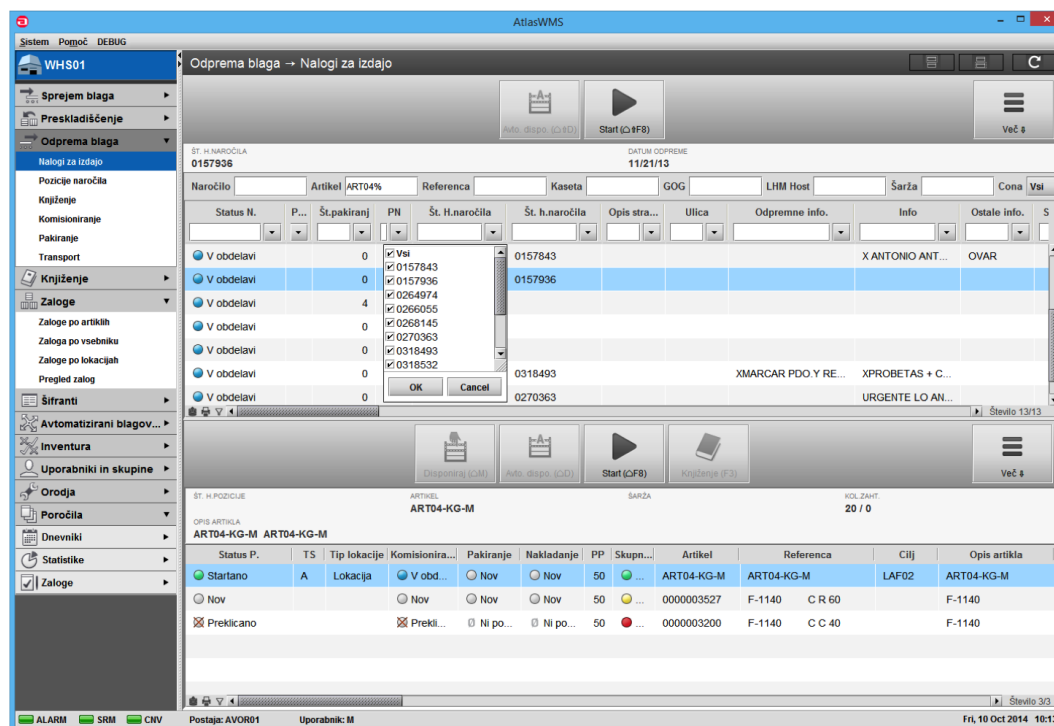


Slika 2.1: Shema procesov, podprtih v AtlasWMS

Bistvene lastnosti sistema AtlasWMS (MFS in WMS) so:

- upravljanje z nalogi za prejem, proizvodnjo in odpremo,
- vodenje zalog v več merskih enotah hkrati, upravljanje s šaržami (angl. *Lot*) in drugimi atributi blaga,
- 100-odstotna sledljivost vseh transakcij
- podpora avtomatiziranim napravam,
- integriran modul za logistiko,
- upravljanje z skladiščnimi conami,
- samodejna (FIFO) ali ročna alokacija zaloge,
- podpora inventuri (redna ali naključna),
- tabelarična in grafična poročila.

AtlasWMS podpira lokalizacijo in deluje na vseh razširjenih platformah (Windows, Mac OS X, GNU/Linux). AtlasWMS podpira podatkovno bazo



Slika 2.2: Uporabniški vmesnik AtlasWMS

Oracle, ki je fizično ločena od transakcij. Na dnevni ravni se izvajajo varnostne kopije, sistem pa samodejno obvešča vzdrževalno osebje preko elektronske pošte.

Ključna entitete v sistemu AtlasWMS iz stališča modula za upravljanje delovnih obremenitev so naročilo, postavka, delna postavka in delovna izmena in so opisane v nadaljevanju poglavja.

2.2 Glavne entitete

Glavni elementi oz. entitete v AtlasWMS so:

- Naročilo (GO, angl. *General Order*). Naročilo ponavadi prispe iz ERP sistema preko vmesnika za izmenjavo telegramov (DEXC). Naročilo je običajno prevzemno ali odpremno. Prevzemno naročilo je namenjeno

prevzemu novega ali vrnjenega blaga, ki je prispelo v skladišče. Odpremo naročilo pa je namenjeno za pripravo blaga za končno stranko.

- Postavka naročila (GOI, angl. *General Order Item*). Vsaka postavka naročila vsebuje informacije o artiklu in zahtevani vrsti zaloge.
- Delna postavka naročila (OOI, angl. *Operational Order Item*). Delna postavka naročila običajno nastane med disponiranjem zaloge. Vsebuje informacije o lokaciji ciljne zaloge, kakšna količina zaloge bo obravnavana ter kdo bo opravil delo. To je ključna entiteta pri upravljanju skladiščnega poslovanja. Več o OOI izveste v poglavju 5.
- Lokacija (LOCAT, angl. *Location*). Lokacija je enolična označba prostora v skladišču, na katerem se nahajajo vsebniki z zalogo.
- Vsebnik (CONT, angl. *Container*). Vsebnik je objekt, ki vsebuje enega ali več tipov zaloge. Vsak vsebnik mora imeti določeno lokacijo (LOCAT).
- Delovna postaja (WKS, angl. *Workstation*). Delovna postaja označuje vsako posamezno napravo oz. računalnik, ki opravlja določeno funkcijo v skladišču. Vsaka delovna postaja ima ločeno inštalacijo AtlasWMS.
- Zaloga (FP, angl. *Field pack*) je najmanjša možna osnovna enota zaloge, ki je označena z enolično številko (SU).

Poglavje 3

Razvojna orodja, metode in tehnologije

3.1 Razvojna orodja

Razvoj modula za upravljanje delovnih obremenitev je potekal s standardnim naborom orodij, katere se v Epilogu uporablja na oddelku za razvoj in implementacijo. Uporabili smo sledeče programske pakete:

- IntelliJ IDEA 14 ultimate (IDE za razvoj projektov v Javi),
- Ant (orodje za prevajanje),
- Perforce (orodje za revizijo programske opreme),
- Java JDK SE 1.6 in 1.7,
- Oracle SQL developer (orodje za upravljanje s podatkovnimi bazami),
- JFormsDesigner (vtičnik IntelliJ IDEA za izdelavo grafičnih vmesnikov),
- WEKA (programska oprema za strojno učenje).

Intelij Idea je glavno javansko razvojno okolje, katerega uporabljamo Epilogovi razvijalci programske opreme. S pomočjo IntelliJ Idea smo razvili

celotno javansko logiko kot tudi PL/SQL funkcije v podatkovni bazi. SQL developer je bil na drugem mestu, saj je ključno orodje za delo s podatkovno bazo Oracle. Program WEKA je imel pri razvoju modula in pisanju diplomske naloge pomembno funkcijo in je bolj podrobno opisana v poglavju 5 [1].

3.2 Potek razvoja

Programsko kodo smo razvijali po principu MVC (angl. *Model, View, Controller*), ki ločuje uporabniški vmesnik od kode za kontrole nad vmesnikom in poslovno logiko. Na tak način smo zagotovili, da bo modul lažji za vzdrževanje in modifikacije. Uporabniški vmesnik je hibrid med JFormsDesigner grafično formo in novejšo tehnologijo JavaFX kar zagotavlja maksimalno fleksibilnost v zasnovi in sorodnost nove programske kode z obstoječim sistemom AtlasWMS. To pomeni, da smo se morali ves čas razvoja držati smernic in programskih paketov, ki so predpisani s strani vodje razvoja v Epilogu. JavaFX je Javanska programska platforma za kreiranje namiznih in spletnih aplikacij in je mišljena kot naslednik obstoječe splošno razširjene platforme Swing. Razlog za uporabo JavaFX je bil predvsem dinamično risanje grafov in interaktivnih grafičnih elementov, kar omogoča zelo učinkovito in enostavno upravljanje modula iz uporabniškega stališča. Večji delež poslovne logike modula se nahaja v podatkovni bazi Oracle v PL/SQL paketih. To velja tudi za ostale module. Za potrebe modula je bilo potrebno v podatkovni bazi kreirati nove tabele in PL/SQL pakete. [3]

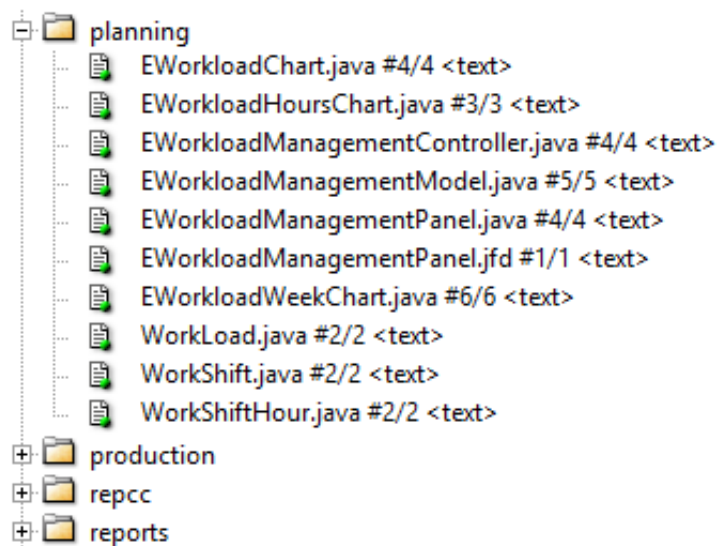
Razvoj modula V1 je potekal v več fazah:

- Sestanek s sodelavci v Epilogu in analiza glede na potrebe obstoječih strank in vizijo Epiloga. Tu je bilo potrebno definirati ključne potrebe strank, uporabno vrednost modula ter postaviti predviden časovni okvir razvoja modula.
- Skiciranje grafičnega uporabniškega vmesnika (angl. *Graphical user interface, GUI*) in zasnovanje osnovnega delovanja modula. Pri tem

koraku smo k sodelovanju povabili tudi grafičnega oblikovalca, ki je začrtal nekaj smernic razvoja uporabniškega vmesnika v prihodnosti.

- Sestava relacijskega podatkovnega modela na podlagi potreb poslovne logike. Na tem mestu smo uvedli nekaj novih tabel in novih podatkovnih polj v obstoječih tabelah.
- Razvoj prve verzije modula (V1). Na katero se osredotočimo v nadaljevanju.
- Implementacija na strankin testni sistem in testiranje.

Modul faze V1 je razvit konsistentno z ostalimi komponentami sistema AtlasWMS. To pomeni da je v celoti integriran v obstoječo kodo in uporablja vse standardne razrede in PL/SQL procedure. Vredno je omeniti tudi da je izvorna koda napisana po principu MVC kot vsi ostali novejši moduli v sistemu AtlasWMS. Struktura izvorne kode modula je prikazana na sliki 3.1.



Slika 3.1: Struktura izvorne kode modula

Na sliki 3.2 je viden prvi osnutek modula za planiranje, ki je bil osnova za ves nadaljni razvoj modula za planiranje. Kot je razvidno v osnutku smo

12 POGLAVJE 3. RAZVOJNA ORODJA, METODE IN TEHNOLOGIJE

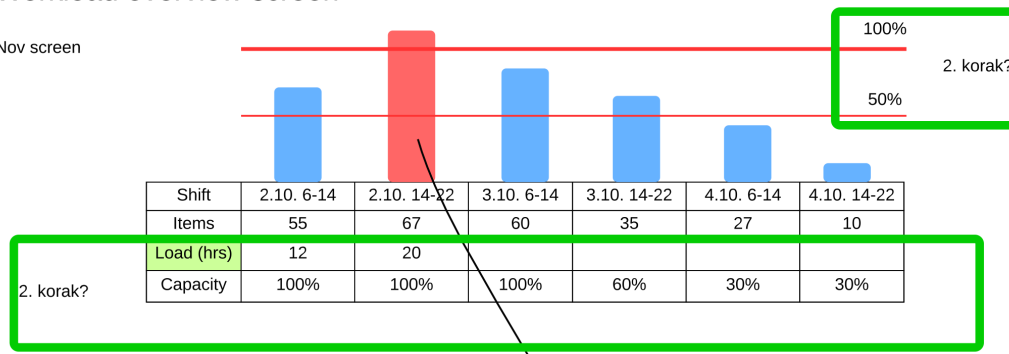
že v začetku definirali osnovne parametre in grafični vmesnik. Glaven podatkovni parameter postavke naročila je datum izvršitve. V grafu smo na X-os postavili delovne izmene Y-os pa predstavlja delež obremenitve vsake delovne izmene. Vzporedno z X-osjo sta tudi dve rdeči črti, ki služita informativnemu pregledu. Ti dve črti predstavljata 50% in 100% obremenitev. Zelo pomembno je, da uporabniku prikažemo delež obremenitve na grafičen način in ne samo numeričen.

Parameters

Order: ship date, execution date,	Capacity: 100% = 16h Capacity: 100% = 62 Pos/shift
---	---

Workload overview screen

Nov screen



Slika 3.2: Osnutek grafa obremenitev

Drugi del osnutka je viden na sliki 3.3 in predstavlja uporabniško interakcijo - uporabnik klikne na izmeno in odpre se nova tabela, kjer se izpišejo vse postavke naročil, ki so določene tej izmeni. Ta koncept smo razširili z grafičnim prikazom obremenitev po urah izbrane delovne izmene. Prav tako pa je možno določati čas izvajanja po urah delovne izmene. Za več informacij o razvoju samega modula glej naslednje poglavje.

Workload details screen

obstoje screen, filter

Order Nr	Item Nr	Ship date	Exec date	Quantity	Estimate
A123-1	1	3.10.2014	2.10. 14-22	60	15 min
A123-1	2	3.10.2014	2.10. 14-22	120	20 min
A125-0	1	5.10.2014	2.10. 14-22	5	5 min

2. korak?

Slika 3.3: Osnutek tabelarničnega pogleda

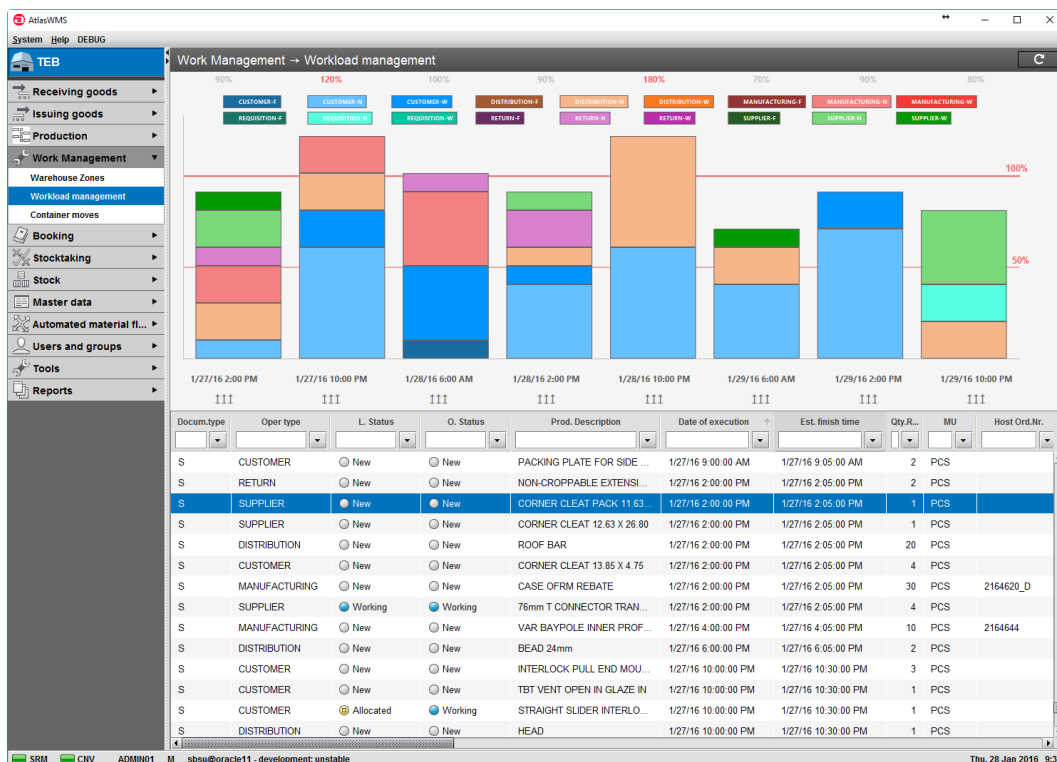
Poglavje 4

Razvoj modula za upravljanje delovnih obremenitev

4.1 Dodana vrednost

V podjetjih, ki se ukvarjajo z logistiko vedno obstaja prostor za dodatne optimizacije. Med ta podjetja štejemo tudi naše obstoječe stranke, katerih procese že dobro poznamo. Na podlagi svojih izkušenj smo tako lahko identificirali njihove ključne potrebe in probleme, ki se v tem kontekstu pojavljajo. Med te štejemo tudi optimalno izkoriščanje prostora v skladišču in upravljanje z človeškimi viri. Če želimo učinkovito upravljati s človeškimi viri, moramo dobro poznati njihovo kapaciteto in procesne t.j. delovne zahteve. Modul bo sčasoma združil upravljanje s človeškimi viri v obliki delovnih izmen in predikcijo potreb po le-teh. Naše stranke bodo lahko z novejšo verzijo AtlasWMS sistema delovne procese prilagodile tako, da bodo bolj učinkovite pri doseganju svojih ciljev. Modul mora biti v končni fazi narejen tako, da se sistem sčasoma uči na podlagi preteklih podatkov. Na tak način modul postopoma predlaga bolj točne časovne ocene. Zaenkrat smo se omejili na upravljanje človeških virov t.j. delovnih izmen glede na količino delovnih nalogov. Kljub temu ima modul zelo veliko potenciala pri vseh logističnih procesih. Faza V1 je namenjena spoznavanju uporabnikov s tem modulom in

upoštevanju njihovih predlogov pri praktični uporabnosti. V1 je v času pisanja te diplomske naloge že implementirana na testnem sistemu nove stranke SBSU. Ko bomo imeli nekaj izkušenj in izoblikovano uporabniško izkušnjo se lahko lotimo razvoja faze V2 na podlagi dejanskih produkcijskih statističnih podatkov. Na sliki 4.1 je uporabniški vmesnik modula za upravljanje delovnih obremenitev, ki predstavlja glavni rezultat faze V1.



Slika 4.1: Uporabniški vmesnik modula za upravljanje delovnih obremenitev

4.2 Upravljanje z delovnimi izmenami

Skladišča poslujejo v eni ali več delovnih izmenah. Pred razvojem modula, smo se odločili, da bo prva faza upravljanja, t.j. določanja časa izvajanja delovnega naloga, bazirala na predefiniranih delovnih izmenah. To pomeni, da mora biti v sistemu AtlasWMS najmanj ena dnevna delovna izmena. Glavna

maska za upravljanje delovnih obremenitev mora tako ponuditi tedenski pregled dela. V tedenskem pregledu dela so vidne tekoče delovne izmene (en dan za nazaj in tri za vnaprej). Tekoče delovne izmene so tiste, ki so vidne v določenem časovnem okvirju tedenskega pregleda. Kreiranje delovne izmene v sistemu AtlasWMS poteka na dva načina: avtomatsko (glede na prednastavljena pravila) in ročno. Ročen način je predviden za skladišča, ki imajo zelo razpršen oz. fleksibilen delovnik ali delajo zelo dinamično glede na potrebe proizvodnje.

Za upravljanje s šifranti delovnih izmen sta v sistemu AtlasWMS na voljo dve maski: nastavitve delovnih izmen in seznam delovnih izmen v podatkovni bazi. V prvi maski uporabnik definira - vstavi pravila, na podlagi katerih se v AtlasWMS sistemu redno in samodejno (dnevno) kreirajo delovne izmene. V drugi maski se izpišejo vse kreirane delovne izmene v določenem časovnem okvirju. V tej maski ima uporabnik tudi možnost ročnega kreiranja delovne izmene.

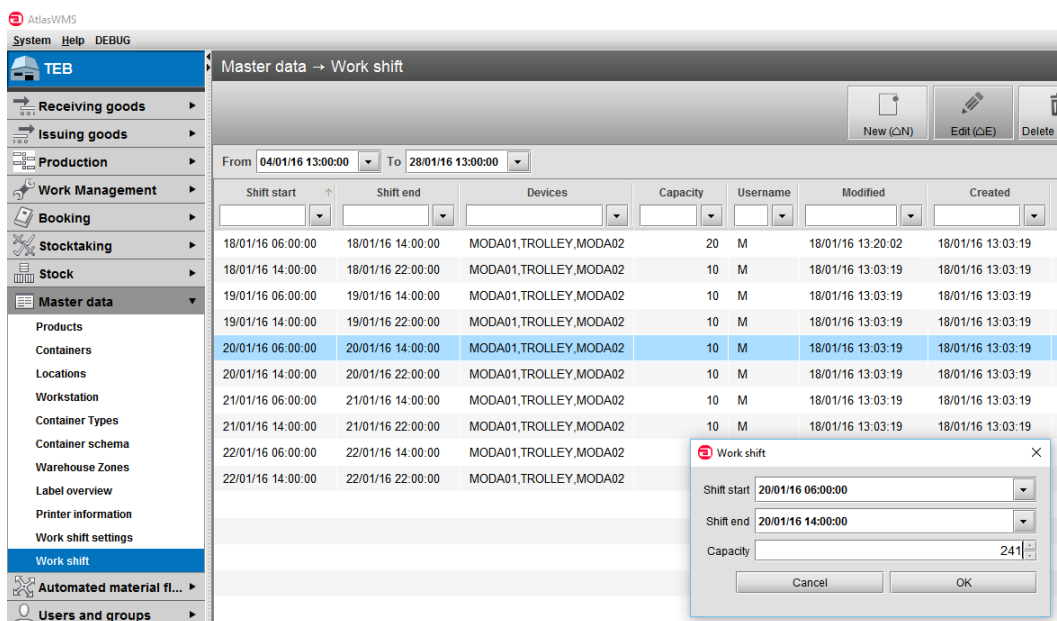
Osnovi podatki entitete delovne izmene so čas začetka, čas zaključka, kapaciteta in seznam delovnih postaj, za katere velja ta delovna izmena. Kapaciteta delovne izmene je rešitev za implementacijo modula, ki še ne bazira na statistični obdelavi podatkov. V modulu V1 je kapaciteta bistven podatek, ki nam pove koliko dela zmore osebje skladišča opraviti v eni delovni izmeni. Ta kapaciteta je trenutno definirana kot število skomisioniranih postavk naročila v eni delovni izmeni. Uporaba in vzdrževanje delovnih izmen je predpogoj za optimalno upravljanje z modulom za upravljanje delovnih obremenitev. Ko imamo v AtlasWMS dovolj izdanih delovnih nalogov, lahko pričnemo z upravljanjem z modulom.

Delovne izmene so zapisane v podatkovni bazi v tabeli `app_work_shift`. Entiteta `app_work_shift` vsebuje naslednje attribute:

- `work_shift_id` (primarni ključ),
- `time_start` (datum in čas začetka izmene),
- `time_end`(datum in čas konca izmene),

- session_id (tuji ključ seje, v kateri je bila izmena kreirana),
- capacity (kapaciteta delovne izmene),
- date_create (datum in čas kreiranja delovne izmene),
- date_modify (datum in čas zadnjega urejanja delovne izmene)

Bistvena časovna podatka sta time_start in time_end tipa timestamp, ki povesta kdaj se delovna izmena prične in kdaj konča. Modul zaenkrat ne podpira časovnega prekrivanja dveh ali več delovnih izmen. Za te primere, bi bilo potrebno redefinirati pravila za upravljanje in filtrirati postavke naročil po skladiščnih conah. Kreiranje delovnih izmen je možno na dva načina: ročno s pomočjo dialoga za kreiranje delovne izmene ali avtomatsko na podlagi nastavitve delovnih izmen. Na sliki 4.2 je tabela kreiranih delovnih izmen in dialog za kreiranje delovne izmene.



Slika 4.2: Modul za upravljanje delovnih izmen

Nastavitve delovnih izmen so definirane v posebni paneli, ki se v meniju nahaja takoj pod panelo delovnih izmen. Tu je možno kreirati pravila za

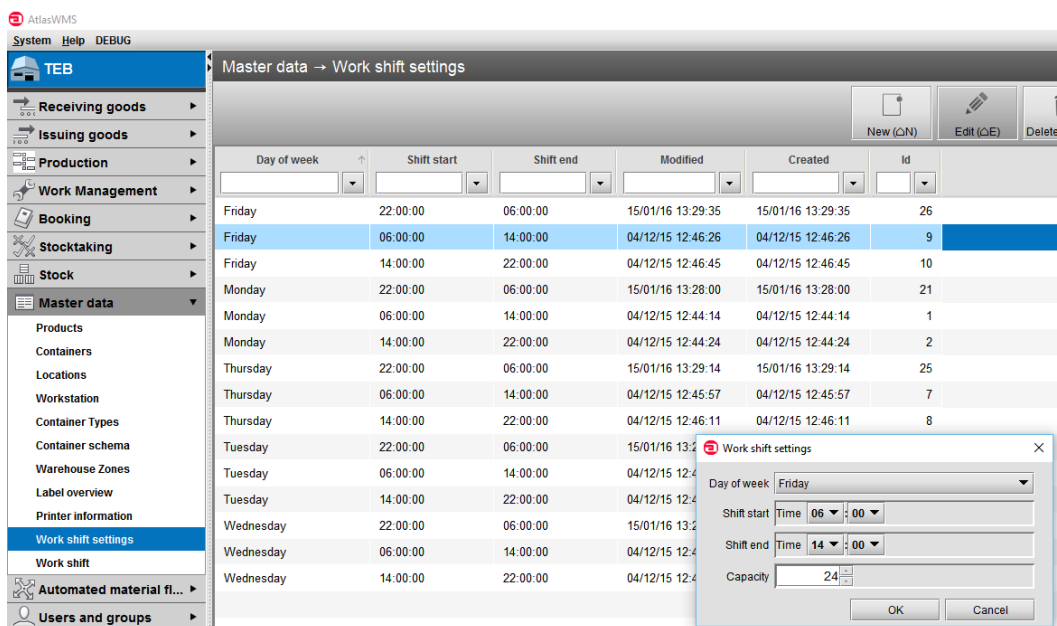
avtomatsko dnevno kreiranje delovnih izmen. Ta modul podpira avtomatsko kreiranje od ene do treh delovnih izmen. Avtomatsko kreiranje se izvaja v bazi s pomočjo PL/SQL skripte `daily.sql`. Omenjena skripta skrbi za redne vzdrževalne procese v podatkovni bazi. Ena izmed procedur je tudi `create_daily_shifts()`, ki skrbi, da se vsak dan preberejo ustrezni izpisi iz tabele nastavitev `app_work_shift_setting` in za določeno število dni vnaprej (to je zapisano v konstanti `c_days_offset`) kreirajo delovne izmene `app_work_shift`, glede na definirana pravila v atributih nastavitve delovne izmene. Te delovne izmene so potem predmet upravljanja delovnih obremenitev.

Slika 4.3 prikazuje nastavitve delovnih izmen, ki so zapisane v podatkovni bazi v tabeli `app_work_shift_setting`. Entiteta `app_work_shift_setting` vsebuje naslednje attribute:

- `work_shift_setting_id` (primarni ključ nastavitve izmene),
- `day_of_week` (za kateri dan v tednu gre),
- `time_start` (čas začetka delovne izmene v 24h časovni obliki),
- `time_end` (čas zaključka delovne izmene v 24h časovni obliki),
- `session_id` (tuji ključ seje, v kateri je bila nastavitve kreirana),
- `capacity` (kapaciteta delovne izmene),
- `date_create` (datum in čas kreiranja nastavitve izmene),
- `date_modify` (datum in čas zadnjega urejanja nastavitve izmene)

4.3 Upravljanje modula

Upravljanje modula s stališča uporabnika mora biti čim bolj enostavno. Zato je bilo zelo pomembno, da smo učinkovito upravljanje modula zastavili že pred začetkom razvoja. Osnovni grafični vmesnik za upravljanje z modulom je razdeljen na dva dela: grafični in tabelarni. Tabelarni del vsebuje



Slika 4.3: Modul za upravljanje nastavitev delovnih izmen

tabelo aktualnih delovnih nalogov, grafični pa interaktivne grafe na temeljih tehnologije JavaFX. Ti grafi prikazujejo vse delovne izmene v trenutnem časovnem oknu ali pa vse ure trenutne delovne izmene, odvisno od faze. Vsaka delovna izmena ima določeno obremenitev z višino grafa na Y-osi.

Upravljanje z modulom smo v osnovi razdelili v dve fazi: v prvi fazi uporabnik delovnim nalogom določi delovno izmeno, v drugi pa gre korak dlje in delovnim nalogom za izbrano delovno izmeno (npr. trenutno ali naslednjo) določi uro izvedbe. Na tak način lahko razporedi vse aktualne delovne naloge po urah v ustrezne delovne izmene. Določanje delovne izmene se izvaja v kontroliranem okolju, ki ima implementirane nekatere nujne podatkovne kontrole, ki preprečujejo izvenstandardne operacije.

4.3.1 Določanje delovne izmene

Prva faza upravljanja obremenitev je določanje delovne izmene. Vmesnik za prvo fazo se nahaja na prvem mestu podmenuja Work management in je

viden na prejšnji sliki 4.1. To pomeni, da uporabnik izbere zeleno delovno izmeno, ki obstaja v bazi in se nahaja v trenutnem časovnem okvirju. Za začetek smo se odločili za čim ustrežnejše privzete nastavitve. Časovni okvir je privzeto nastavljen na pet dni, kjer je tretji dan trenutni delovni dan, torej ima uporabnik vpogled dva dni za nazaj in dva dni vnaprej. Ta časovni okvir je možno tudi nastavljati v sistemskih nastavitvah, ki jih imenujemo registri sistema AtlasWMS.

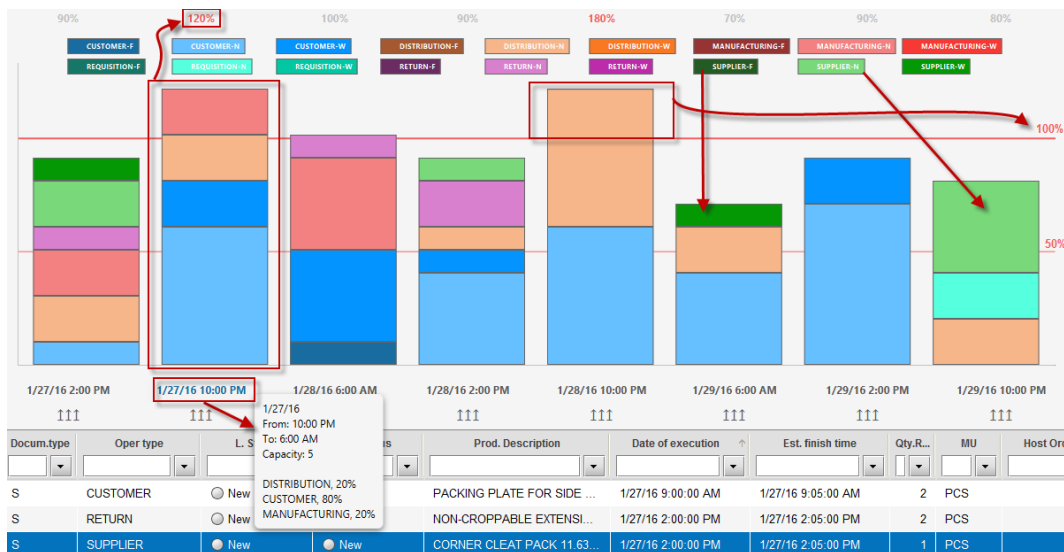
Bistvena prednost uporabe delovnih izmen v prvi fazi upravljanja pred določanjem po dnevih je zagotovo v tem, da imamo v enem dnevu lahko več izmen in da lahko teoretično ena izmena traja več kot 24 ur. Večji delež skladišč naših strank namreč obratuje v dveh ali celo treh delovnih izmenah.

Graf delovnih obremenitev

Na sliki 4.1 je viden graf obremenitev delovnih izmen. Graf delovnih izmen predstavlja aktualne delovne izmene v trenutnem časovnem okviru. Pri tem višina stolpca predstavlja delež obremenitve za vsako izmeno. Stolpci so sestavljeni iz deleža obremenitev za vsak podtip in status naročila, kar je razvidno tudi iz različnih barv naloženih stolpcev. Preslikava barv v podtip in status naročila je vidna v legendi na vrhu grafa. Na grafu sta še dve rdeči črti, ki sta vedno na enaki poziciji Y-osi. Ti dve črti predstavljata 50% in 100% delež obremenitev. Ko delovna izmena preseže 100% obremenitev, se smatra da je preobremenjena. Takrat se rdeče obarva tudi številčna oznaka obremenitve na vrhu grafa.

Tabela aktualnih delovnih postavk

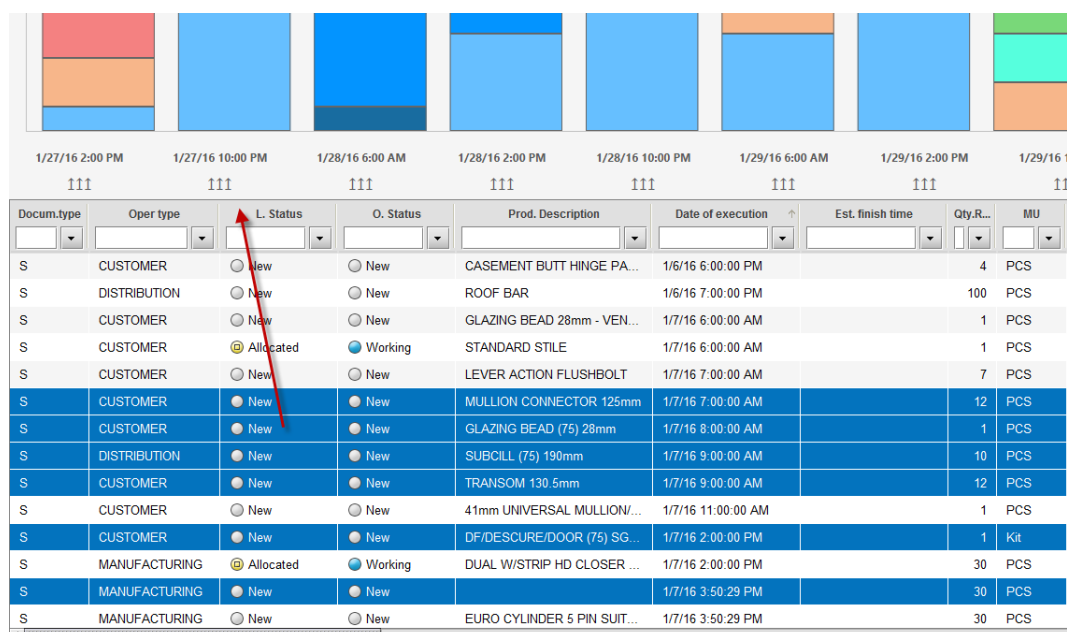
Na sliki 4.5 je vidna spodnja polovica grafičnega vmesnika modula, kjer se nahaja tabela aktualnih delovnih postavk, ki so še nedokončane. Gre za t.i. pametno tabelo, katero se uporablja skoraj v vseh modulih sistema AtlasWMS. Sposobne so prikazati širok spekter različnih tipov podatkov. Po funkcionalnosti so zelo podobne tabelam programa Microsoft Excel, saj je možno stolpce filtrirati, razvrščati, skrivati, shranjevati nastavitve ipd. Ob



Slika 4.4: Stolpčni graf obremenitev

desnem kliku na vrstico je iz menija možno priti do dodatnih informacij o izbrani entiteti kot so npr. artikel, zaloga, lokacija, vsebnik. Tabela podpira tudi možnost izbire več vrstic hkrati (angl. multi select). Na tak način lahko uporabnik izbere več postavk naročila in jim v eni potezi določi delovno izmeno za čas izvršitve.

Uporabnikova izbira izmene je predstavljala manjši tehnični problem. Prva opcija je bila uporaba grafičnih t.i. drsnikov (angl. *JSslider*). Takšna implementacija bi bila tehnično dokaj enostavna za izvedbo, vendar nudi precej manj fleksibilnosti in ergonomije uporabniškega vmesnika. Zato smo se odločili za uporabo dinamičnih grafičnih elementov, ki jih ponuja Javanska platforma JavaFX. Interakcija poteka tako, da se pod stolpci X-osi, ki predstavljajo različno obremenjene delovne izmene, izrišejo dinamični gumbi, ki predstavljajo imena delovnih izmen. Uporabnik izbere eno ali več delovnih nalogov v tabeli in nato klikne na željeno delovno izmeno (gumb s tremi puščicami). V tem času se za izbrane delovne naloge določi polje `time.start` izbrane delovne izmene, torej je ura izvršitve enaka uri začetka delovne izmene. Določanje ure izvršitve je opisano v naslednjem podpoglavju.



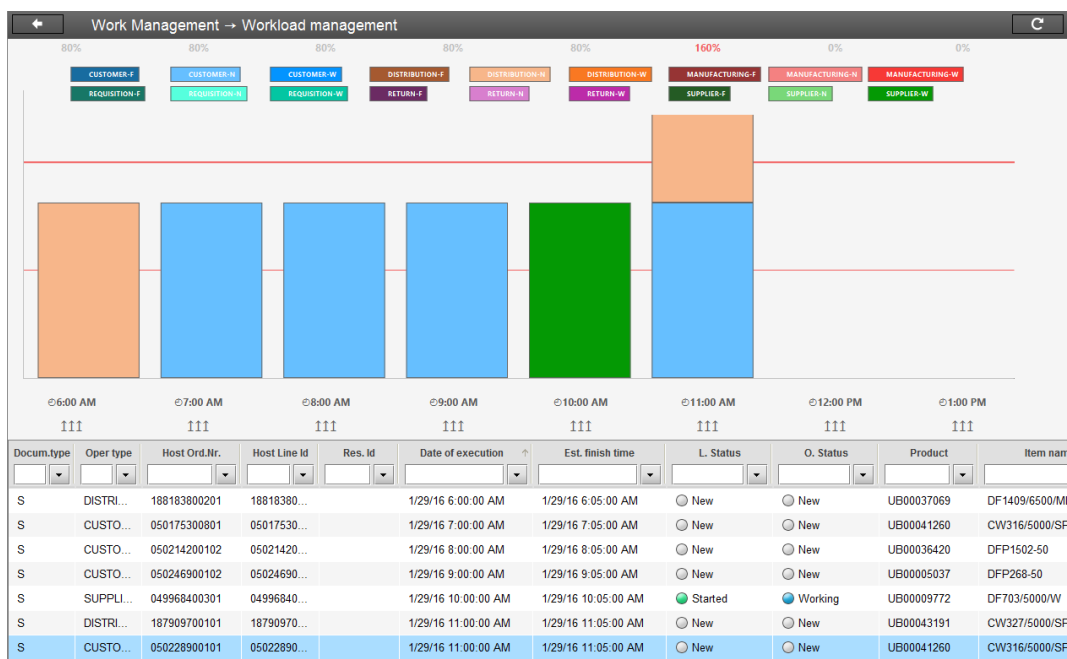
Slika 4.5: Tabela postavk naročil. Puščica prikazuje potek določanja delovne izmene: Najprej se izbere postavke naročil, nato pa se s pomočjo klika na gumb s tremi puščicami izbere zelena delovna izmena.

Na sliki 4.1 je viden graf obremenitev. Gre za t.i. naložen stolpični graf, kjer vsak stolpec predstavlja količino delovne obremenitve za določen tip in status naročil. Primer prikazuje scenarij za stranko, ki ima 5 tipov naročil. Ti tipi naročil se združujejo še po statusih: nov (N), v obdelavi (W) in dokončan (F). Možnih je torej 15 različnih barvnih kombinacij stolpcev, kar je težje za hitro identifikacijo na grafu. Rešitev za to so t.i. oblački (angl. Tooltip), ki prikažejo dodatne informacije o stolpcu ob premiku nanj z miškinim kazalcem.

4.3.2 Določanje ure

Druga faza upravljanja obremenitev je določanje ure izvršitve delovnega naloge. Vmesnik za drugo fazo se prikaže ob izbiri delovne izmene v prvi fazi t.j. tedenskem pregledu obremenitev delovnih izmen. V drugi fazi imajo

razpoložljivi delovni nalogi že določen čas izvršitve, vendar je ta čas enak času začetka delovnih izmen. Če je uporabnik za postavko naročila GOI-1 izbral na primer delovno izmeno WS-A petek 22.01.2016 6:00-14:00, se tej postavki nastavi čas izvršitve 6:00. Uporabniki, t.j. vodje skladišč, želijo sedaj optimizirati eno delovno izmeno naenkrat. Vmesnik deluje podobno kot v prvi fazi, le da se namesto delovnih izmen na X-osi izrišejo ure izbrane delovne izmene. Ure se običajno združujejo na okroglo številko npr. 8:00, 9:00 itd. V tabeli delovnih nalogov se prikažejo samo tiste postavke naročil, ki spadajo v izbrano delovno izmeno, torej je nemogoče da bi v tej fazi uporabnik videl delovne naloge, ki še nimajo določenega časa izvršitve oz. so določeni za kakšno drugo izmeno. Glej sliko 4.6.



Slika 4.6: Upravljanje delovnih obremenitev v urnem pregledu

4.3.3 Zgornja meja obremenitve in optimalna mera

Ena ključnih točk, ki so bile napisane že dolgo pred samim začetkom razvoja modula je bila prikaz maksimalne možne obremenitve delovne izmene. V grafu modula je ta obremenitev prikazana kot vodoravna črta rdeče barve z označbo 100%. Ker ima vsaka delovna izmena podatek kapaciteta, lahko s pomočjo tega izračunamo kolikšen delež celotne kapacitete delovne izmene predstavljajo dodeljene postavke delovnih nalogov. Osnovna formula za izračun obremenitve delovne izmene se nahaja v funkciji `getWorkloadPercent()`, ki deli skupno količino postavk v delovni izmeni s kapaciteto delovne izmene in rezultat pretvori v procente.

Zgornja rdeča črta na grafu (slika 4.1) torej predstavlja delež obremenitve za celotno kapaciteto delovne izmene 100%. Vsaka delovna izmena, ki preseže črto se smatra za preobremenjeno in se označi z rdečo barvo, to pomeni da je delež obremenitve večji od 100%. V kolikor pride do preobremenitve delovne izmene se smatra, da naročila ne bodo pravočasno skomisionirano in pripravljeno za transport k stranki ali pa zaloga ne bo preskladiščena. Podobna funkcionalnost je v upravljanju po urah, kjer lahko na tak način identificirimo časovne intervale, ko je delovna izmena preobremenjena. Če je celotna delovna izmena preobremenjena, je potrebno čas izvršitve prestaviti v drugo delovno izmeno, oz. če je preobremenjeno samo določeno časovno obdobje (npr. 15:00-16:00) je dovolj da se prestavi le uro izvršitve.

4.3.4 Napoved časa zaključka postavke naročila

Ko imamo informacijo, koliko časa traja obdelava ene postavke naročila in informacijo kdaj bo ta postavka naročila šla v obdelavo, lahko napovemo predviden čas zaključka obdelave postavke naročila. Pozoren bralec bo v tabeli na sliki 4.6 poleg stolpca `Date of execution` opazil še poseben stolpec `Est. finish time`. Ta podatek se dinamično preračuna s pomočjo PL/SQL funkcije pri pridobivanju podatkov iz podatkovne baze. Pove nam, kdaj lahko pričakujemo, da bo postavka naročila obdelana. Ta funkcionalnost omogoča

tudi optimizacijo logistike transporta in možnost sporočanja določenim strankam, kdaj lahko svoje blago prevzamejo iz skladišča. Ta funkcionalnost je sicer še v razvoju, saj je potrebno izračunane čase še analizirati s pomočjo zgodovine knjiženj in nato optimizirati algoritem.

Poglavje 5

Predikcija časovne ocene

Eden izmed ciljev diplomske naloge je bil tudi natančen in hiter izračun časovne ocene določenega delovnega naloga. Za njen izračun moramo poznati časovno oceno za izvedbo vseh artiklov za osnovne količine na primarnih operacijah. Pojavijo se naslednja vprašanja:

- kako beležiti dosedanje operacije, da bomo učinkovito zajeli relevantne statistične podatke,
- kako postaviti podatkovni model za učinkovito zbiranje statističnih podatkov,
- kako oceniti časovne zahteve manj pogostih artiklov,
- kako pravilno napovedati časovne zahteve na podlagi vzorcev iz preteklosti,
- kako vse skupaj implementirati v podatkovni bazi, da bo delovalo hitro, zanesljivo in da bo enostavno za podporo in nadgradnje

V trenutni implementaciji V1, ki je v tem času tudi v obstoječem produkcijskem sistem stranke SBSU, se za izračun časovne ocene uporablja normalirane vrednosti. To pomeni, da uporabnik sam določi hitrost obratovanja skladišča (potreben čas za komisioniranje ene postavke naročila) in kapaciteto delovne izmene s številom opravljenih postavk naročila v eni delovni

izmeni. Razlog za to odločitev je premalo časa za tehnično implementacijo modula V2 za produkcijsko uporabo in pomanjkanje pravih podatkov daljšega časovnega obdobja.

Pred časom zagona projekta SBSU, smo dodali nekaj dodatnih atributov, ki služijo za zajem dodatnih podatkov, ki so potrebni za izračun optimalne časovne ocene na podlagi preteklih podatkov. Eden od novih atributov se imenuje `book_start`, ki je tipa `timestamp`. Ta atribut dodatno pripomore k beleženju dejanskega časa komisioniranja v ročnih skladiščih z RF terminali. Nahaja se v tabeli OOI (angl. *OperationalOrderItem*) in se beleži vsakič, ko uporabnik izbere oz. prične s postavko nasročila za komisioniranje.

5.1 Zbiranje podatkov (OOI)

OOI podatkovna struktura je skupna skoraj vsem implementacijam AtlasWMS in je osnova za razvoj in implementacijo izračuna časovne ocene. OOI podatek je v relaciji N:1 z njegovim staršem OO (angl. *Operational Order*), ki predstavlja glavo dokumenta OOI. Za kateri tip OOI-ja gre je zapisano torej v glavi dokumenta OO.

Sistem AtlasMWS podpira več tipov in podtipov dokumenta OO. Najpogostejši tipi v ročnih skladiščih so naslednje konstante:

- `c_doc_type_ship` ('S') (tip dokumenta za odpremo)
- `c_doc_sub_type_packaging` ('PACK') (podtip odpremne dokumenta, ki označuje proces pakiranja)
- `c_doc_sub_type_picking` ('PICK') (podtip odpremne dokumenta, ki označuje proces komisioniranja)
- `c_doc_type_receive` ('R') (tip dokumenta za prevzem)
- `c_doc_type_transfer` ('T') (tip dokumenta za prenos zaloge)
- `c_doc_type_inventory_count` ('I') (tip dokumenta za inventuro)

- `c_doc_type_correction` ('C') (tip dokumenta za korekturo zaloge)
- `c_doc_type_loading` ('L') (tip dokumenta za nakladanje blaga t.j. končna odprema iz skladišča)

OOI tabela je ključna pri našem zajemu podatkov, saj je namenjena shranjevanju transakcij. Najpogosteje se to zgodi ob dispoziciji zaloge, korekturi, pakiranju, transportu, korekturi zaloge in inventuri. Vsak OOI ima v nekem trenutku definiran status:

- `c_status_new` ('N') (nova delna postavka naročila)
- `c_status_started` ('S') (delna postavka naročila dodeljena RF terminalu)
- `c_status_working` ('W') (delna postavka naročila v obdelavi)
- `c_status_canceled` ('C') (preklicana operacija)
- `c_status_error` ('E') (napaka v procesu)
- `c_status_finished` ('F') (v celoti zaključena delna postavka)

Primer življenjski cikel OOIjev je sledeč: Gostitelj (ERP) v AtlasWMS pošlje glavo odpremne naloge z eno odpremno pozicijo. To pomeni da v AtlasWMS sistemu nastane 1 GO tipa S z 1 GOI-jem v statusu N, kateri pravi da je potrebno odpremiti X kosov artikla A. Zaloga za artikel A je na voljo v vsebniku C. To pomeni, da lahko upravljalec skladišča (v primeru našega skladišča je to umetni avtomatski proces v Atlasu z imenom AOP (angl. *Automatic Order Processor*)) disponira to zalogo in starta na prvi prost RF terminal - ga dodeli delavcu. Te faze bomo poimenovali faze odpreme:

V 1. fazi odpreme smo imeli v AtlasWMSu 1 GO in 1 GOI.

V 2. fazi odpreme (dispozicija) je nastal 1 OOI, ki pove da je potrebno nabrati X kosov artikla A iz vsebnika C.

V 3. fazi odpreme, ko se nalog starta na RF terminal se ta novo nastali OOI poveže s cono te delovne postaje (tabela WKS-ZONE) in OOI status se spremeni v 'S' - started.

4. faza poteka tako, da uporabnik na seznamu nalogov izbere GO in posledično startan OOI. V tej fazi gre OOI v status W (angl. *working*) in čaka na knjiženje. Ko uporabnik prispe do vsebnika C, skenira zalogo artikla A. V kolikor je uporabnik skeniral pravilno zalogo, lahko poknjiži operacijo. Po knjiženju gre OOI v status F (angl. *Finished*) in proces komisioniranja je delno končan. Uporabnika čaka še proces pakiranja in na koncu še proces transporta na transportno vozilo. V teh procesih nastanejo tudi novi OOI tipi.

Pakiranja in transporta ne bom razlagal v podrobnosti saj bomo ostali le pri končanem procesu nabiranja, na katerega smo se omejili pri izbiri podatkov za analizo. Razlog za to odločitev je preprosto v tem, da se največ časa porabi pri procesu komisioniranja oz. nabiranja blaga in da je komisionirne podatke t.j. OOI-je možno pridobiti najhitreje ter brez kompleksnih podatkovnih relacij.

5.2 Priprava podatkov

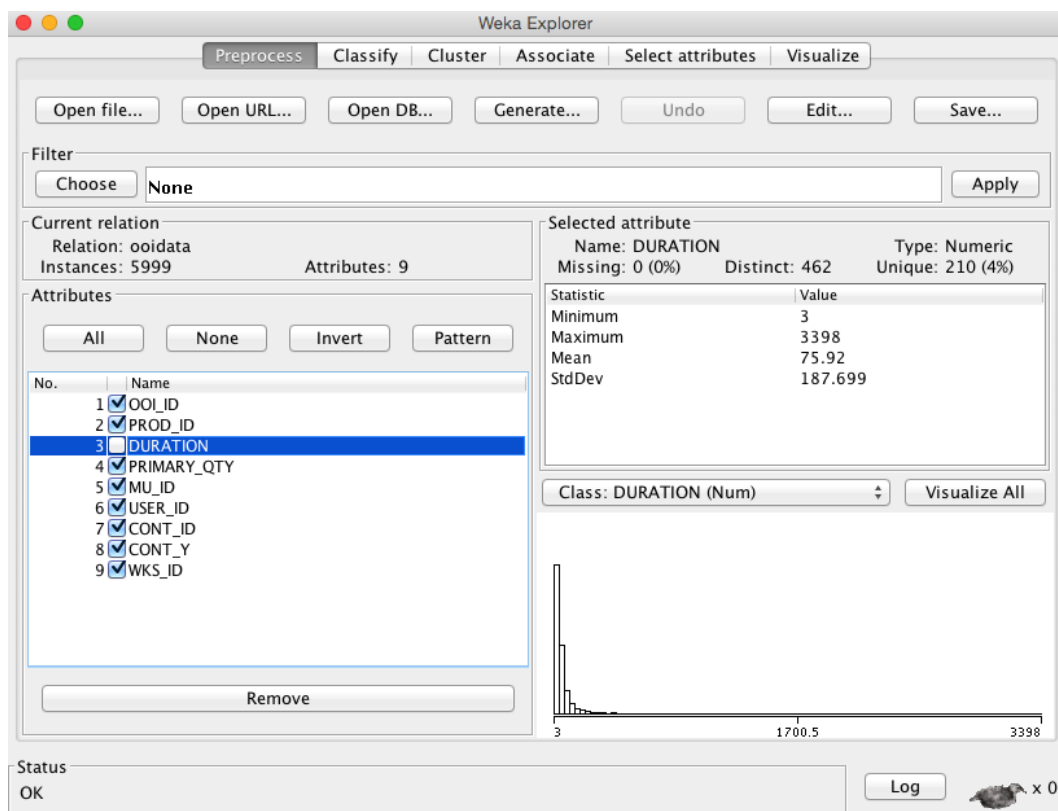
Za uvod v razvoj modula V2 in pripravo testnega odločitvenega drevesa, smo torej potrebovali realne produkcijske podatke, ki bodo služili kot osnova za testiranje natančnosti napovedi odločitvenega drevesa. Za zajem testnih podatkov smo si izbrali obstoječ projekt stranke (ELUX). Gre za ročno skladišče, ki uporablja AtlasWMS že več kot 2 leti. AtlasWMS pri njih pokriva celoten potek materiala od prevzema do transporta. To skladišče sicer ne zajema vseh funkcionalnosti in različnih tipov entitet, ki so podprte v AtlasWMS, vendar je kljub temu dober začetek za obdelavo podatkov, ki so potrebni za nadaljno obdelavo v orodju WEKA.

5.3 Izgradnja odločitvenega drevesa v orodju WEKA

Odločitveno drevo je diagram oz. struktura, v katerem vsako vozlišče predstavlja vejitev iskanja končne vrednosti glede na določene vrednosti posameznega atributa. Vsak končni list predstavlja možno vrednost glede na pot od korena odločitvenega drevesa do lista. To pot imenujemo tudi klasifikacijska pravila. Pri odločitvenih analizah je diagram odločitvenega drevesa predstavljen kot vizualno orodje, kjer lahko izračunamo pričakovane vrednosti. Odločitveno drevo deluje po metodi deli in vladaj, ki jo implementira algoritem REPTree. To pomeni da konstruira pravila z delitvijo splošnejših pravil v manjše sete pravil. Za uporabo REPTree algoritma smo se odločili zaradi dveh ključnih razlogov: Praviloma sproducira bolj kvalitetne rezultate v primerjavi z drugimi metodami strojnega učenja in končni model je preglednejši in lažji za implementacijo [4].

WEKA je delovno okolje, ki vsebuje zbirko vizualnih orodij in algoritmov za podatkovno analizo in prediktivno modeliranje. Ima tudi grafični uporabniški vmesnik, ki nudi enostaven dostop do vseh glavnih funkcij, ki jih to orodje ponuja. WEKA je prosto dostopno orodje izdano pod GNU GPL licenco. WEKA je omogočila zelo enostavno izgradnjo odločitvenega drevesa na podlagi obstoječih produkcijskih podatkov pred začetkom razvoja modula V2 [5].

Na sliki 5.1 je viden uporabniški vmesnik programa WEKA. Nadaljevali smo z modulom explorer. V zavihku preprocess smo odprli arff datoteko s 100.000 OOI-ji, ki smo jo prej pripravili s pomočjo Excel dokumenta. Po uspešnem uvozu datoteke arff je orodje WEKA pravilno zaznala vse attribute (OOI_ID, PROD_ID, DURATION, PRIMARY_QTY, MU_ID, USER_ID, CONT_ID, CONT_Y, WKS_ID). Naslednji korak je klasifikacija. Ta funkcionalnost se nahaja na drugem zavihku - Classify. Tukaj smo izbrali klasifikator REPTree z navzkrižnim preverjanjem (Cross-Validation) 10. Izbrali smo še atribut, ki ga ocenjujemo in kliknili start. Rezultat je bilo

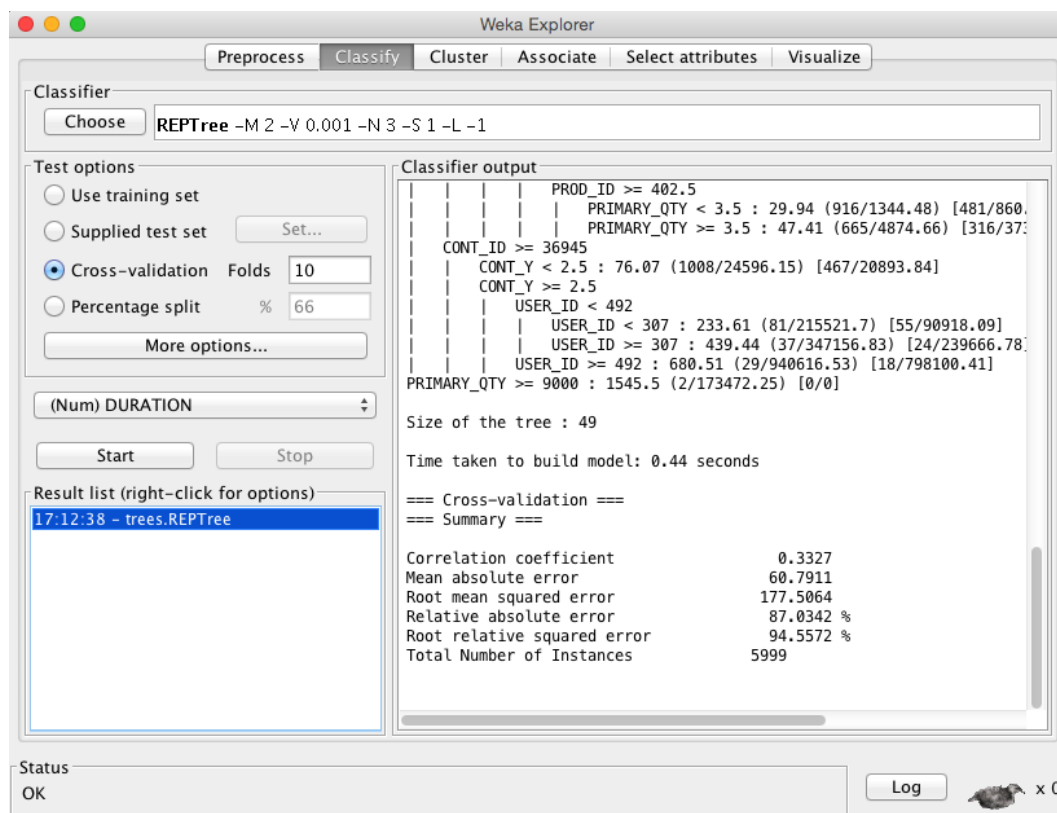


Slika 5.1: Uvoz podatkov v WEKA

odločitveno drevo in končni rezultati natančnosti odločitvenega drevesa:

Correlation coefficient	0.3327
Mean absolute error	60.7911
Root mean squared error	177.5064
Relative absolute error	87.0342 %
Root relative squared error	94.5572 %
Total Number of Instances	5999

Rezultat je viden na zgornjem seznamu. Korelacijski koeficient znaša 0,33, kar nakazuje na pozitivno linearno odvisnost. Odstopanje izmerjenih vrednosti od povprečne znaša 60,8s.

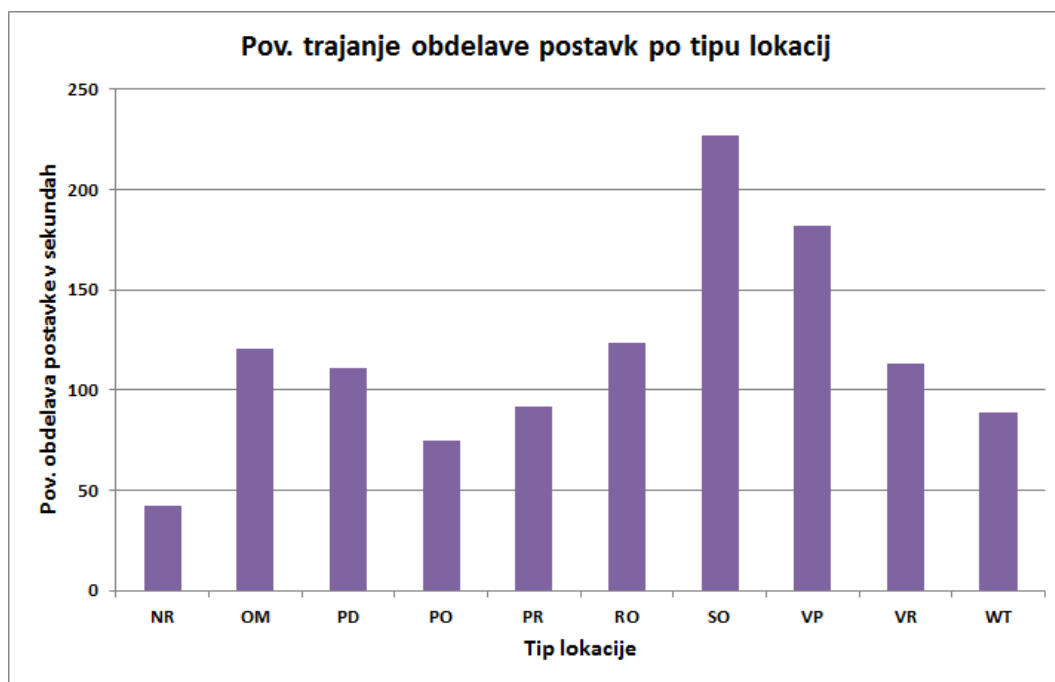


Slika 5.2: Izgradnja odločitvenega drevesa

5.4 Izboljšava natančnosti predikcije

Na tej točki imamo dovolj podatkov da lahko raziskujemo, kako lahko vplivamo na natančnost predikcije in kateri atributi najbolj vplivajo na čas obdelave delne postavke naročila. Vzeli smo podatke 100.000 OOI-jev stranke ELUX in jih analizirali. Pri 1. analizi smo raziskali, kako na povprečni čas obdelave delne postavke naročila vpliva lokacija zaloge v skladišču. Vse lokacije smo razbili na več lokacijskih tipov, ki so tako nominalno kot fizično združeni skupaj po skladišču. Primer pomena oznak je sledeč: NR pomeni nizki regali, VR pomeni visoki regali, SO pomeni pomožni šotor zunaj skladišča, OM pa zaklenjene omare z dragocenejšim blagom. Na sliki 5.3 je graf, ki prikazuje rezultate analize tipov lokacij. Iz grafa je razvidno da komisioniranje

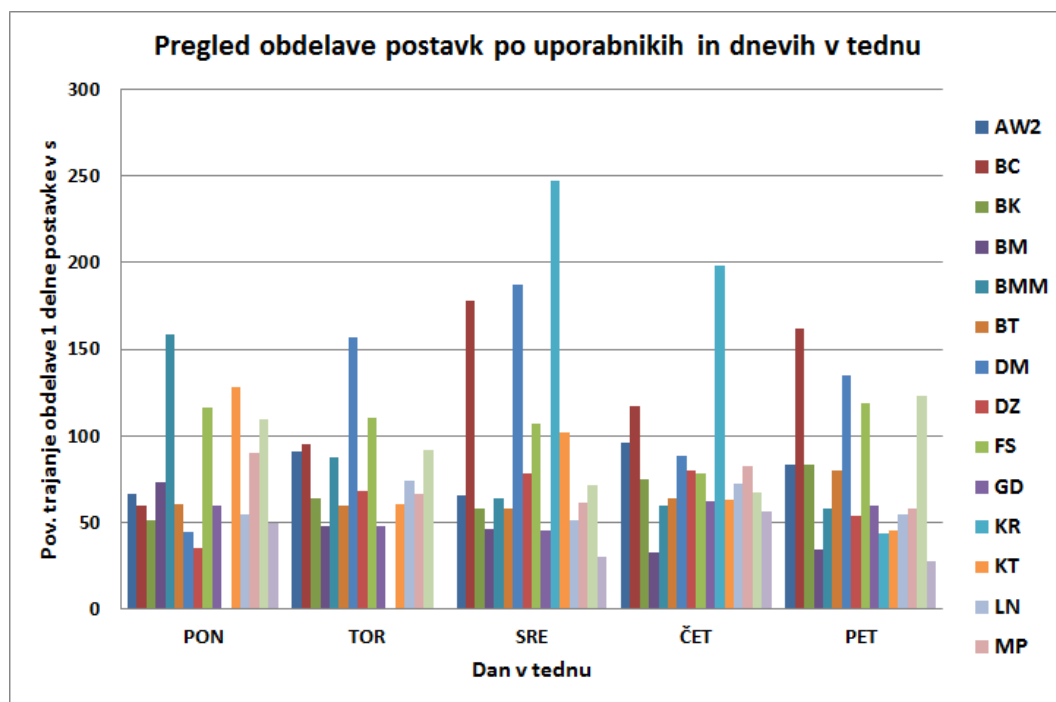
zaloge iz zunanjega šotora vzame največ časa, saj mora skladiščnik zapustiti glavno skladišče in se odpraviti cca. v 250m oddaljen šotor, kjer je shranjeno blago. To pomeni da lahko v fazi, ko poznamo lokacijo ciljne zaloge, precej natančneje napovemo predviden čas komisioniranja. Ta faza nastopi že v procesu dispozicije zaloge. Ena od zanimivejših sorodnih raziskav bi bila tudi, kako vplivajo koordinate lokacije zaloge na trajanje komisioniranja. V primeru skladišča ELUX je potrebno zaloge, ki se nahajajo v visokih regalih, pred komisioniranjem fizično (z viličarjem) prestaviti iz visokega regala na tla. To lahko bistveno vpliva na trajanje komisioniranja.



Slika 5.3: Analiza vpliva tipa lokacije na trajanje obdelave delovnih postavk

Pri 2. analizi smo raziskovali, kako hitro uporabniki komisionirajo glede na dan v tednu. Iz zajetih podatkov OOI smo naredili šifrant uporabnikov in za vsakega posebej izračunali, koliko časa je v povprečju komisioniral 1 OOI vsak dan v tednu. Rezultati so vidni na sliki 5.4. Najbolj sta izstopala sredo in četrtek. Takrat so skladiščniki v povprečju porabili največ časa za

komisioniranje delne postavke naročila, najhitrejši pa so bili ob ponedeljkih in petkih. Ta analiza seveda ni povsem enolična in lahko skriva dejstvo, da nekateri skladiščniki upravljajo le z določenimi tipi artiklov, ki so zahtevnejši za obdelavo (npr. so težji ali imajo močnejšo embalažo za odpakiranje). Predikcijo časa komisioniranja na podlagi teh atributov lahko napovemo šele v 3. fazi odpreme, t.j. startanju postavk na delovne postaje (RF terminale). Takrat vsak uporabnik, ki je prijavljen na startano delovno postajo vidi naročila za obdelavo. Ker vemo, kdo je prijavljen na startano delovno postajo, lahko napovemo, koliko časa bo na njej potekalo komisioniranje.



Slika 5.4: Analiza trajanja obdelave delovnih postavk po uporabnikih glede na dan v tednu

Na tej točki smo identificirali parametre, ki najbolj vplivajo na predikcijo časovne ocene. To so:

- Vrsta artikla. Nekateri artikli so težji ali večji, pojavljajo se tudi vzorci artiklov, kjer se pogosto obravnava večja količina blaga.

- Zahtevna količina. Pri artiklih, kjer je potrebno veliko štetja se tu porabi več časa. Enako velja za artikle z večjo maso.
- Ime AtlasWMS uporabnika. Nekateri skladiščniki so hitrejši v določenih opravilih kot ostali. Pojavi se tudi razlika med izkušenejšimi skladiščniki in novo zaposlenimi.
- Tip lokacije. Določeni tipi lokacij so na težje dostopnih mestih, npr. visoki regali (VR), ali pa so bolj oddaljeni od komisionirnega mesta (SO).
- Dan v tednu. Na začetku tedna smo opazili nižjo produktivnost.
- Ura. Tu smo identificirali določena časovna obdobju v posameznem delovniku, kjer skladiščnikom upade ali naraste produktivnost zaradi različnih razlogov, kot je npr. čas za odmor ali zaključek delovne izmene.

Poglavje 6

Rezultati in zaključek

Z izgradnjo prvega odločitvenega drevesa s pomočjo pravih produkcijskih podatkov sicer druge stranke imamo dobre osnove za pripravo na razvoj modula V2. Plan dela za razvoj modula V2 je, da se razišče najboljšo metodo za samo implementacijo odločitvenega drevesa. V tem času bo modul za upravljanje delovnih obremenitev že nekaj časa v produkcijski uporabi pri naši novi stranki SBSU. Pridobili bomo tudi nekaj ključnih podatkov, s katerimi bomo ponovili korake priprave podatkov s pomočjo orodja WEKA in naredili novo odločitveno drevo, ki bo implementirano kot nov dodaten javanski proces na strežniku in bo v tesni korelaciji s podatkovno bazo Oracle.

Raziskati je potrebno tudi različne možnosti nadgradenj v smislu dodatnih uporabniških modulov. V kolikor imamo dovolj podatkov, lahko poleg obremenitev delovnih izmen napovemo tudi koliko blaga bo dejansko pripravljenega za transport. S tem lahko stranka optimizira stroške transporta. Ena od bolj zanimivih nadgradenj je tudi časovna projekcija obremenitve delovne izmene po urah. S tem bi lahko natančneje in grafično bolje predstavili delež obremenitve oz. količino zaključenih postavk naročil ob določeni uri v prihodnosti.

Pri nadaljnjem razvoju modula za upravljanje delovnih obremenitev in iskanju optimalne metodologije za točnejšo predikcijo se bo pridružil še novi sodelavec Jakob Režun, katerega diplomska naloga se bo imenovala Napo-

vedovanje trajanja delovnih operacij v skladišču. Jakob bo s pomočjo večje količine podatkov nadaljeval z raziskovanjem na področju strojnega učenja.

V začetnem poglavju smo omenili tudi razvoj modula V3. Gre za koncept, kjer bi umeten proces AOP na AtlasWMS strežniku avtomatsko razporejal naročila oz. postavke naročil tako, da optimalno obremeni vse delovne izmene, hkrati pa zadosti časovnim rokom in potrebam transporta. AOP se je pozitivno izkazal v številnih skladiščih, kjer opravlja funkcijo avtomatske alokacije zaloge in startanje naročil na RF terminale, to pomeni da zna avtomatsko razporejati delovne naloge in upravljati z rezervacijami zaloge. AOP bi lahko v teoriji opravljal še dodatno funkcijo.

Sčasoma bomo pridobili dovolj povratnih informacij od končnih uporabnikov, da bomo proces upravljanja delovnih obremenitev še izboljšali in obstoječem okolju za upravljanje skladišč AtlasWMS še dodatno dvignili uporabno vrednost, tako da bomo lahko našim strankam nudili celovito informacijsko rešitev za optimalno vodenje skladišč.

Literatura

- [1] Steven. Feuerstein. *Oracle PL/SQL Programming*. O'Reilly, 2002.
- [2] Wolfgana. Bode. *Comprehensive introduction to Intralogistics*. Still 2004.
- [3] Kishori. Sharan. *Learn JavaFX8*. Apress 2014.
- [4] Ian. H. Witten, Frank Eibe. *Data Mining. Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers 2005.
- [5] WEKA. [Online]. Dosegljivo:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Weka_\(machine_learning\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Weka_(machine_learning)). [Dostopano
31. 01. 2016].